

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ЗВУКОИЗОЛЯЦИОННЫХ СВОЙСТВ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ И АКУСТИЧЕСКОЙ ЗАЩИЩЕННОСТИ ПОМЕЩЕНИЙ

К. А. Паршин, П. А. Анашкин

(Екатеринбург, УрГУПС, KParshin@usurt.ru, v060138@gmail.com)

Оценка звукоизоляционных свойств помещений в целом и ограждающих конструкций в частности является одним из важнейших аспектов подготовки помещения к переговорам конфиденциального характера.

Объективные результаты акустической защищенности выделенного помещения дают технические методы контроля. Они различны по сложности, точности измерений и стоимости.

При проведении аттестации соответствующих помещений используется инструментально-расчетный метод оценки эффективности защиты выделенных помещений от утечки речевой информации [1].

В то же время в области охраны труда и защиты населения от шумового воздействия применяют методики, позволяющие определять уровень изоляции воздушного шума ограждающими конструкциями в жилых и общественных зданиях.

В настоящей работе проведен сравнительный анализ инструментально-расчетной методики оценки защищенности речевой информации от утечки по прямым акустическим каналам при аттестации выделенных помещений, а также методики определения шумоизоляции ограждающих конструкций в помещениях жилых и общественных зданий инструментальным способом, проводимой в рамках оценки защищенности населения от вредного воздействия шума.

Цель работы – определение возможности использования методик, применяемых при оценке шумового воздействия на население, для аудита помещений, предназначенных для проведения переговоров конфиденциального характера.

**Методика оценки защищенности речевой информации
от утечки по прямым акустическим каналам
при аттестации выделенных помещений [2; 3]**

Рассмотрим возможный метод и порядок проведения измерений звукоизолирующей способности ограждающих конструкций защищаемых (выделенных) помещений.

Цель проверки – определение словесной разборчивости речи W , под которой понимается относительное количество (в процентах) правильно понятых человеком слов из перехваченного разговора.

Передающая измерительная система должна содержать: генератор шума; усилители мощности; акустическую систему.

Блок-схема аппаратуры для создания звукового сигнала приведена на рис. 1.

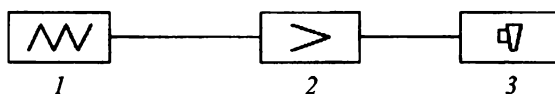


Рис. 1. Аппаратура для создания тестового акустического сигнала:

1 – генератор шума; 2 – усилитель мощности; 3 – акустическая система

Приемная измерительная система должна содержать: измерительный микрофон; шумомер; третьоктавные полосовые фильтры.

Блок-схема аппаратуры для измерения звукового сигнала приведена на рис. 2.

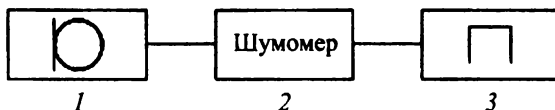


Рис. 2. Аппаратура для измерения звукового сигнала:

1 – измерительный микрофон; 2 – шумомер; 3 – октавные фильтры

Порядок проведения измерений и расчетов

Измерительная аппаратура собирается по приведенной на рис. 3 блок-схеме, калибруется и подготавливается к измерениям в соответствии с инструкциями по эксплуатации.

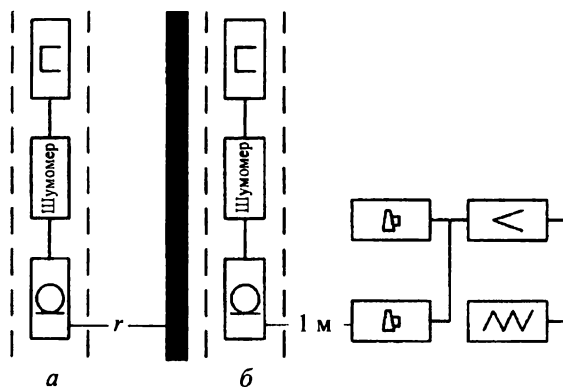


Рис. 3. Схема измерительной установки при контроле выполнения норм защищенности речевой информации:

а – в помещении; *б* – вне помещения

1. Акустическая система (звуковая колонка) источника тестового акустического сигнала устанавливается в месте расположения источника речевого сигнала (высота установки акустической системы над поверхностью пола – 1,5 м). На расстоянии 1 м от акустической системы устанавливается измерительный микрофон. Включается генератор тестового акустического сигнала, устанавливается максимальный уровень излучения и измеряется уровень тестового сигнала для каждой октавной полосы $L_{\text{ТЧ},i}$. После окончания измерений генератор тестового акустического сигнала выключается, при этом фиксируются его настройки.

2. Измерительный микрофон устанавливается в выбранной контрольной точке на расстоянии r от ограждающей конструкции выделенного помещения до места возможного размещения средства акустической разведки. Высота установки над поверхностью пола – 1,5 м.

3. При отключенном источнике тестового сигнала шумомером измеряется уровень акустических шумов в контрольной точке в каждой октавной полосе $L_{\text{ш},i}$. Измерения проводятся в течение 10–20 мин. при отсутствии транспортных шумов и пр. Определяются минимальные значения уровня шумов, полученные при измерениях.

4. Включается генератор тестового акустического сигнала (настройки генератора не изменяются). При включенном источнике тестовых сигналов измеряется уровень суммарного тестового сигнала (сигнал плюс шум) в каждой октавной полосе $L_{TC2,i}$. Измерения проводятся при отсутствии транспортных шумов.

5. Рассчитывается уровень тестового акустического сигнала в контрольной точке для каждой октавной полосы $L_{TC,i}$:

$$L_{TC,i} = 101 g (10^{0,1L_{TC2,i}} - 10^{0,1L_{ш2,i}}), \quad (1)$$

где $L_{TC,i}$ – уровень тестового акустического сигнала в контрольной точке в i -й октавной полосе, дБ; $L_{ш2,i}$ – уровень акустического шума в контрольной точке в i -й октавной полосе, дБ; $L_{TC2,i}$ – уровень тестового суммарного акустического сигнала (сигнал плюс шум) в контрольной точке в i -й октавной полосе, дБ.

6. Рассчитывается затухание акустического сигнала на трассе от места расположения источника речевого сигнала до контрольной точки для каждой октавной полосы Z_i :

$$Z_i = L_{TC1,i} - L_{TC,i}, \quad (2)$$

где Z_i – затухание акустического сигнала на трассе от места расположения источника речевого сигнала до контрольной точки в i -й октавной полосе, дБ; $L_{TC1,i}$ – уровень тестового акустического сигнала в выделенном помещении в i -й октавной полосе, дБ.

7. Рассчитывается отношение сигнал/шум в контрольной точке в каждой октавной полосе q_i :

$$q_i = L_{C,i}^* - Z_i - L_{ш2,i}, \quad (3)$$

где $L_{C,i}^*$ – уровень скрываемого акустического сигнала в выделенном помещении в i -й октавной полосе, дБ (определяется по табл. 1).

8. На основе вычисленного отношения сигнал/шум q_i рассчитывается словесная разборчивость в следующей последовательности:

8.1. Для каждой октавной частотной полосы рассчитывается коэффициент восприятия формант слуховым аппаратом человека p_i ,

Т а б л и ц а 1

**Типовые уровни речевого сигнала $L_{c,i}^*$, дБ,
измеренные в октавных полосах на расстоянии 1 м
от источника сигнала в зависимости от вида речи**

Номер полосы	Среднегеометрическая частота полосы f_p , Гц	Уровни речевого сигнала $L_{c,i}^*$, дБ, в зависимости от вида речи			
		Тихая	Средней громкости	Громкая	Очень громкая
1	125	47	53	59	67
2	250	60	66	72	80
3	500	60	66	72	80
4	1000	55	61	67	75
5	2000	50	56	62	70
6	4000	47	53	59	67
7	8000	43	49	55	63

который представляет собой вероятное относительное количество формантных составляющих речи, обладающих уровнями интенсивности выше порогового значения восприятия:

$$p_i = \begin{cases} \frac{0,78 + 5,46 \cdot \exp[-4,3 \cdot 10^{-3} \cdot (27,3 - |Q_i|^2)]}{1 + 10^{0,1|Q_i|}}, & \text{если } Q_i \leq 0; \\ 1 - \frac{0,78 + 5,46 \cdot \exp[-4,3 \cdot 10^{-3} \cdot (27,3 - |Q_i|^2)]}{1 + 10^{0,1|Q_i|}}, & \text{если } Q_i > 0, \end{cases} \quad (4)$$

где $Q_i = q_i - \Delta A_p$, дБ; ΔA_p – значение формантного параметра спектра речевого сигнала в i -й октавной полосе частот (определяется по табл. 2), дБ; i – номер октавной полосы, $i = 1 \dots 7$.

8.2. Рассчитывается спектральный индекс артикуляции (понимаемости) речи R_i и интегральный индекс артикуляции речи R :

$$R_i = p_i \times k_p \quad (5)$$

Т а б л и ц а 2

Характеристики октавных полос частотного диапазона речи

Номер полосы	Частотные границы полосы $f_n - f_m$, Гц	Среднегеометрическая частота полосы f_p , Гц	Весовой коэффициент полосы k_i	Значение формантного параметра речи в полосе ΔA_i , дБ
1	90–175	125	0,01	25
2	175–355	250	0,03	18
3	355–710	500	0,12	14
4	710–1400	1000	0,20	9
5	1400–2800	2000	0,30	6
6	2800–5600	4000	0,26	5
7	5600–11200	8000	0,07	4

$$R = \sum_{i=1}^7 R_i, \quad (6)$$

где k_i – весовой коэффициент i -й октавной полосы частот (определяется по табл. 2).

8.3. Рассчитывается словесная разборчивость речи W :

$$W = \begin{cases} 1,54 \cdot R^{0,25} [1 - \exp(-11 \cdot R)], & \text{если } R < 0,15; \\ 1 - \exp\left(-\frac{11 \cdot R}{1 + 0,7 \cdot R}\right), & \text{если } R \geq 0,15. \end{cases} \quad (7)$$

8.4. Рассчитанное значение словесной разборчивости сравнивается с нормированным значением W_n (приведены в табл. 3).

Если рассчитанное значение словесной разборчивости речи не превышает установленного нормированного значения $W \leq W_n$, считается, что перехват разговоров, ведущихся в выделенном помещении, техническими средствами акустической разведки невозможен.

Если рассчитанное значение словесной разборчивости речи выше установленного нормированного значения $W > W_n$, необходи-

Т а б л и ц а 3

Критерии эффективности защиты выделенных помещений

Цель защиты	Критерий эффективности защиты, %
Скрытие факта ведения переговоров в выделенном помещении	$W_n \leq 10$
Скрытие предмета переговоров в выделенном помещении	$W_n \leq 20$
Скрытие содержания переговоров в выделенном помещении	$W_n \leq 30$
Скрытие содержания переговоров в выделенном помещении (в случае непреднамеренного прослушивания)	$W_n \leq 40$

мо применять меры по защите выделенного помещения от утечки речевой информации.

**Методика определения шумоизоляции
ограждающих конструкций в помещениях жилых
и общественных зданий инструментальным способом [4]**

Методика предназначена для измерения изоляции воздушного шума внутренними и наружными ограждающими конструкциями (стенами, перекрытиями и их элементами, перегородками) жилых и общественных зданий и заключается в последовательном измерении и сравнении средних уровней звукового давления в помещениях высокого и низкого уровней в определенных полосах частот. Методика основана на ГОСТе [4].

Передающая измерительная система, излучающая шум при измерениях изоляции воздушного шума, должна содержать: генератор шума; полосовые третьоктавные фильтры; усилители мощности; громкоговорители.

Схема аппаратуры для создания звукового сигнала приведена на рис. 4.

Приемная измерительная система должна обеспечивать проведение измерений уровня звукового давления в третьоктавной полосе и содержать: измерительный микрофон; шумомер или микро-

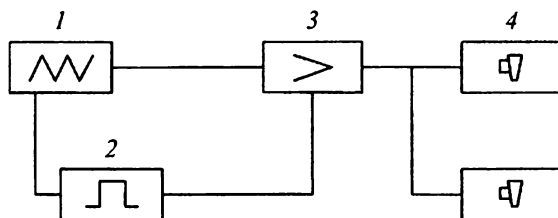


Рис. 4. Аппаратура для создания шумового сигнала:

1 – генератор шума; 2 – октавные фильтры; 3 – усилитель мощности; 4 – громкоговорители

фонный усилитель; третьоктавные полосовые фильтры; регистрирующий прибор звукового давления.

Схема аппаратуры для измерения звукового сигнала приведена на рис. 5.

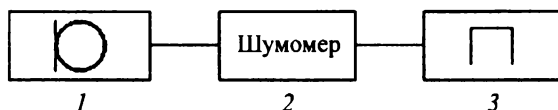


Рис. 5. Аппаратура для измерения шума:

1 – измерительный микрофон; 2 – шумомер; 3 – октавные фильтры

Условия для проведения измерений

1. Стандартные тест-сигналы типа «белого» или «розового» шума задаются соответствующими генераторами шума, усиливаются усилителями мощности и излучаются в озвучиваемое помещение одной или несколькими системами соответствующей мощности.

2. Акустические системы должны быть расположены на расстоянии 1–2 м от проверяемой ограждающей конструкции. Выбором количества акустических систем, их расположением и ориентацией должна быть обеспечена неравномерность звукового поля вдоль проверяемой конструкции в пределах 3 дБ во всех полосах частот.

3. При проведении измерений звукоизоляции помещений, оборудованных системами озвучивания, уровень звукового давления

тест-сигнала задается через систему озвучивания помещений независимо от размещения в них акустических систем.

4. В помещении с источником шума точки размещения измерительного микрофона должны быть расположены на расстоянии 1 м от проверяемой ограждающей конструкции и других ограждающих конструкций. Количество точек, одинаково для выделенного и соседнего помещений, определяется протяженностью (размерами) проверяемой конструкции, степенью ее однородности и должно быть не менее 3.

5. При высокой неоднородности проверяемой конструкции (окна, двери, ниши, проемы и т. п. в стене или перегородке) точки размещения микрофона в выделенном и соседнем помещениях следует дополнительно располагать в центре каждой локальной неоднородности.

6. В помещении с источником шума микрофон должен быть направлен в сторону проверяемой конструкции.

7. При проверке вертикальных ограждающих конструкций микрофон в точках размещения располагается на высоте 1,5 м, а при проверке горизонтальных ограждающих конструкций – вдоль наибольшего размера проверяемой конструкции.

Порядок проведения измерений

1. При выключенном тест-сигнале измерить в выбранных точках размещения микрофона в соседнем помещении уровни звукового давления шумового фона $L_{ш}$ в октавных полосах частот.

2. На шумомере должна быть установлена временная характеристика «медленно». Показания отсчитывать с интервалом не менее 5 с, регистрируя установившиеся показания или среднее значение колебаний уровня звукового давления.

3. Включить тест-сигнал и установить с помощью усилителя мощности во всех точках измерения и во всех октавных полосах частот уровни звукового давления в соседнем помещении на 10 дБ выше средних уровней измеренного шумового фона. Если такие уровни установить невозможно, то необходимо либо принять меры к снижению шумового фона на время измерений, либо увеличить мощность звукового давления тест-сигнала.

4. Измерить уровни заданного звукового давления в выбранных точках $L_{\text{зад}}$ размещения микрофона в помещении с источником шумового тест-сигнала во всех остальных полосах частот в соответствии с пунктом (2).

5. Измерить уровни звукового давления $L_{\text{изм}}$ во всех точках измерения, во всех октавных полосах частот в соседнем помещении с учетом условий пункта (2).

6. Измерения по пунктам (1) и (4) можно проводить одновременно при наличии двух каналов измерительной аппаратуры.

7. Измерения по пунктам (1) и (4) необходимо проводить не менее 3 раз.

8. Все результаты измерений должны быть занесены в протокол измерений.

Обработка результатов измерений

1. Определить средние значения уровней шумового фона $L_{\text{ш}}$ и звуковых давлений $L_{\text{зад}}$, $L_{\text{изм}}$, измеренных согласно пунктам (1, 2, 4) во всех октавных полосах частот для каждой точки размещения микрофона по формулам

$$\Delta L_{\text{ш. ср}} = \frac{\sum_{i=1}^n L_n}{n}, \text{ дБ}, \quad (8)$$

$$\Delta L_{\text{зад. ср}} = \frac{\sum_{i=1}^n L_{\text{зад}i}}{n}, \text{ дБ}, \quad (9)$$

$$\Delta L_{\text{изм. ср}} = \frac{\sum_{i=1}^n L_{\text{изм}i}}{n}, \text{ дБ}, \quad (10)$$

где n – число измерений.

2. Если полученные по формулам (8–10) значения для всех точек измерений в соседнем помещении отличаются не более чем на 5 дБ, то определяется среднее значение для всей ограждающей конструкции в каждой октавной полосе по формуле

$$\Delta L'_{\text{изм. ср}} = \frac{\sum_{j=1}^m L_{\text{изм. ср}}}{m}, \text{ дБ}, \quad (11)$$

где m – количество точек размещения микрофона в соседнем помещении.

3. Определить среднее значение уровней звукового давления для всех точек измерения в помещении с источником шумового тест-сигнала:

$$\Delta L'_{\text{зад. ср}} = \frac{\sum_{j=1}^m L_{\text{зад. ср}}}{m}, \text{ дБ}, \quad (12)$$

где m – количество точек размещения микрофона в помещении с источником шумового тест-сигнала.

4. Среднее значение звукоизолирующей способности (звукоизоляции) проверяемой ограждающей конструкции для каждой октавной полосы частот определяется по формуле

$$Q = \Delta L'_{\text{зад. ср}} - \Delta L'_{\text{изм. ср}} \quad (13)$$

5. Если значение в точках измерений в соседнем помещении отличается более чем на 5 дБ, то определяется локальная звукоизолирующая способность (звукоизоляция) для каждой пары точек измерения в обоих помещениях:

$$Q_j = L_{\text{зад. ср}} - L_{\text{изм. ср}}. \quad (14)$$

6. За окончательный результат, сравниваемый с нормируемым значением, принимается минимальное значение звукоизолирующей способности:

$$Q = Q_{j \min}.$$

7. Для повышения надежности результатов измерения и для исключения появления случайных значений целесообразно проводить по предлагаемой методике несколько измерений звукоизоляции (не менее 3) и рассчитывать доверительный интервал. Достаточно надежными можно считать результаты измерений при доверительном интервале, не превышающем 2 дБ при вероятности 0,75.

Сравнительный анализ методики оценки защищенности речевой информации от утечки по прямым акустическим каналам при аттестации выделенных помещений и методике определения шумоизоляции ограждающих конструкций в помещениях жилых и общественных зданий инструментальным способом, проводимой в рамках оценки защищенности населения от вредного воздействия шума, приведен в табл. 4.

Т а б л и ц а 4

Сравнительный анализ рассмотренных методик

	Охрана труда	Защита речевой информации
Методика измерений	Инструментально-расчетная	Инструментально-расчетная оценка
Используемая аппаратура	<ul style="list-style-type: none"> • Генератор шума; • Усилители мощности; • Громкоговорители; • Измерительный микрофон; • Третьоктавные полосовые фильтры; • Шумомер или микрофонный усилитель; • Регистрирующий прибор звукового давления 	<ul style="list-style-type: none"> • Генератор шума; • Усилители мощности; • Акустическая система; • Измерительный микрофон; • Третьоктавные полосовые фильтры
Определяемые параметры	<ul style="list-style-type: none"> • Уровни звукового давления в выбранных точках $L_{\text{зд}}$, дБ; • Уровни звукового давления шумового фона $L_{\text{ш}}$, дБ; • Уровни звукового давления во всех точках соседнего помещения $L_{\text{изм}}$, дБ; • Звукоизолирующая способность ограждающей конструкции Q, дБ 	<ul style="list-style-type: none"> • Уровни звукового давления тестового сигнала $L_{\text{ТС1}}$, дБ; • Уровень звукового давления акустических шумов $L_{\text{ш2}}$, дБ; • Уровень звукового давления суммарного тестового сигнала $L_{\text{ТС2}}$, дБ; • Уровень тестового акустического сигнала в контрольной точке $L_{\text{ТС}}$, дБ; • Затухание акустического сигнала Z, дБ;

Окончание табл. 4

	Охрана труда	Защита речевой информации
		<ul style="list-style-type: none"> • Отношение сигнал/шум в контрольной точке q, дБ; • Уровень скрываемого акустического сигнала в выделенном помещении L_C^*, дБ; • словесная разборчивость W, %

Соответствие используемой аппаратуры и определяемых параметров при проведении инструментальных измерений для нужд охраны труда и нужд защиты речевой информации дает основание для применения норм и методов, используемых в области охраны труда, для аудита защищенности помещений при проведении переговоров конфиденциального характера аналитическими методами [5].

Библиографические ссылки

1. Хорев А. А. Контроль эффективности защиты выделенных помещений от утечки речевой информации по техническим каналам // Защита информации. Инсайд. 2010. № 1. С. 34–45.
2. Железняк В. К., Макаров Ю. К., Хорев А. А. Некоторые методические подходы к оценке эффективности защиты речевой информации // Спец. техника. 2000. № 4. С. 39–45.
3. Дворянkin С. В., Макаров Ю. К., Хорев А. А. Обоснование критериев эффективности защиты речевой информации // Защита информации. Инсайд. 2007. № 2. С. 18–25.
4. ГОСТ 27296-87. Защита от шума в строительстве. Звукоизоляция ограждающих конструкций. Методы измерения. М. : Госстандарт, 1987.
5. СНиП 23-03-2003. Защита от шума. М. : Госстрой России ; ФГУП ЦПП, 2004.